

## 横方向磁束型スイッチトリラクタンスモータに関する基礎的研究

|     |   |
|-----|---|
| 著者  | 伊藤 裕貴   |
| 雑誌名 | 東北大学電通談話会記録   |
| 巻   | 87  |
| 号   | 1   |
| ページ | 86-87   |
| 発行年 | 2018-08   |
| URL | <a href="http://hdl.handle.net/10097/00123445">http://hdl.handle.net/10097/00123445</a> |

修士学位論文要約（平成30年 3 月）

# 横方向磁束型スイッチトリラクタンスモータ に関する基礎的研究

伊藤 裕貴

指導教員：中村 健二

## A Basic Study of Transverse-Flux type Switched Reluctance Motor

Yuki ITO

Supervisor: Kenji NAKAMURA

A switched reluctance (SR) motor consists of only magnetic core and copper winding, while has no permanent magnets. Therefore, the SR motor has a simple and robust structure, and low cost. However, the torque of SR motor is generally inferior to that of a permanent magnet motor. In this paper, to improve characteristics of the SR motor, a transverse-flux type SR motor (TFSRM) is investigated by using a three-dimensional finite element method (3D-FEM) and experiment. Its performance is compared to a conventional radial-flux type SR motor (RFSRM).

### 1. はじめに

近年，地球環境保護の観点から様々な分野で省エネルギー化が進んでいる。特に，我が国においては，総発電電力の約 6 割がモータで消費されている現状から，モータの高効率化が強く求められており，近年では高性能な希土類磁石を用いた永久磁石モータの普及が進んでいる。しかしながら，希土類磁石に不可欠なネオジウムやジスプロシウムなどのレアアースは，一部の国に偏在しているため，常に価格高騰と供給不安にさらされている。加えて，新興国の工業化の進展により，レアアースの需要は今後一層増すことが予想されることから，レアアースが不要で，低コスト・高効率なモータの必要性が高まっている。

スイッチトリラクタンス(SR)モータは鉄心と銅線のみで構成されるため，安価で堅牢な可変速モータとして期待されている。一方，SR モータは永久磁石(PM)モータと比べて，効率やトルクが小さいという欠点がある。

これに対して筆者らは，横方向磁束型(Transverse-Flux type)に着目した。横方向磁束型モータとは，回転子の回転方向に対して主磁束が垂直に発生するモータの総称である。横方向磁束構造とすることで，コイル形状がトロイダル状となり，巻線占積率を高めることができる。横方向磁束型のこれまでの適用例については，PM モータに関してはいくつか報告があるが，SR モータはほとんどない。

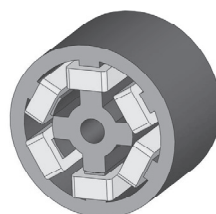
そこで本研究では，有限要素法(FEM)を用いて，横方向磁束型 SR モータ(Transverse-Flux type SR motor: TFSRM)の基礎特性を算定するとともに，一般的な径方向にギャップを有する SR モータ(Radial-Flux type SR motor: RFSRM)と比較を行う。また，試

作機を用いた実証実験を行ったので報告する。

### 2. TFSRM と RFSRM の比較

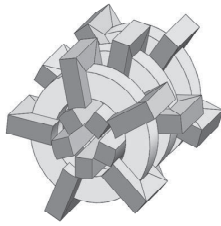
図 1 に，比較対象とした RFSRM の概観と諸元を示す。3 相，固定子 6 極，回転子 4 極のモータであり，鉄心材料は無方向性ケイ素鋼板である。一方，図 2 は本研究で最適設計した TFSRM の概観と諸元である。3 相機であり，1 相当たりの固定子，回転子極数はともに 5 極である。また，固定子には方向性ケイ素鋼板を適用している。比較を行うに当たり，両者の体格と電源電圧は同一とした。このときの TFSRM の巻線占積率は 76 %であり，RFSRM と比べて 2.6 倍程度大きくできる。

図 3 に，電流密度対トルク特性と効率特性を示す。この図を見ると，巻線占積率が大い分，TFSRM の方がトルクが大きいことがわかる。一例として，6 A/mm<sup>2</sup>におけるトルクを比較すると，TFSRM は RFSRM の約 3.3 倍のトルクが得られている。また，方向性ケイ素鋼板を適用したため効率も高いことがわかる。トルク領域全体で 80%以上の効率が得られており，計算上の最高効率は 93 %であった。



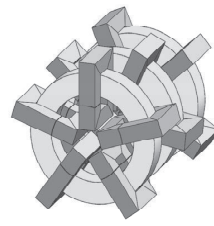
|                       |         |
|-----------------------|---------|
| Core material         | 35H300  |
| Axial length          | 90 mm   |
| Diameter              | 82 mm   |
| Total weight          | 1.64 kg |
| Gap length            | 0.2 mm  |
| Power source voltage  | 60 V    |
| Winding turns / phase | 144     |
| Winding space factor  | 29%     |

図 1 RFSRM の概観と諸元



|                       |         |
|-----------------------|---------|
| Core material         | 35ZH115 |
| Axial length          | 90 mm   |
| Diameter              | 82 mm   |
| Total weight          | 1.50 kg |
| Gap length            | 0.3 mm  |
| Power source voltage  | 60 V    |
| Winding turns / phase | 96      |
| Winding space factor  | 76%     |

図2 TFSRM の概観と諸元



|                       |          |
|-----------------------|----------|
| Core material         | 23Z110   |
| Axial length          | 90 mm    |
| Diameter              | 96 mm    |
| Total weight          | 1.81 kg  |
| Gap length            | 0.3 mm   |
| Power source voltage  | 60 V     |
| Winding turns / phase | 75 turns |
| Winding space factor  | 50.1%    |

図4 試作 TFSRM の概観図と諸元

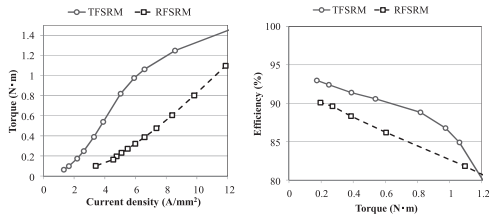


図3 トルク特性および効率特性の比較

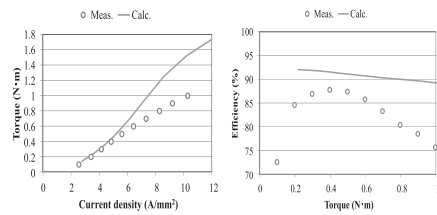


図5 トルク特性と効率特性の比較

### 3. 試作 TFSRM の実証試験

図4に、試作したTFSRMの諸元を示す。製作時の都合により、図2の諸元が一部変更となった。特に、解析では巻線は平角線とし、巻数 96 turns、占積率 76%を見込んでいたが、試作機では適当な平角線が手に入らなかったため、一般的な丸線を採用し、その結果、占積率は 50.1%となった。

セグメント状の固定子、回転子については、各コアの背面部に穴を開け、ボルトでケースに直接固定した。なお、支持部材には非磁性のステンレス鋼である SUS304 を用いた。

図5に、電流密度対トルク特性と効率特性を示す。図中の実線が計算値、シンボルが実測値である。実験での最高効率は 88% となり、計算値よりは悪化したものの、一般的な SR モータと比べて、比較的高い値となった。一方、トルクについては、大幅に悪化したことがわかる。この理由は、相間で磁気干渉が発生していることや、コア背面に穴を開けたため、鉄心の磁路が狭窄し、磁気飽和が生じたことが考えられる。

そこで、上記2つの影響を考慮した解析を行った。図6に、結果を示す。磁気干渉とコア背面部の穴の影響を考慮したことにより、計算値と実測値がおおむね一致したことが了解される。残った誤差の要因としては、固定に用いられたネジの材質が解析モデルと実機では異なることが挙げられる。また、加工、組立公差により、ギャップ長が 0.3 mm よりも短くなった可能でもある。また、軽負荷側で効率の誤差が大きい原因は、解析では考慮できない機械損が、軽負荷側では大きいことが要因であると考えられる。

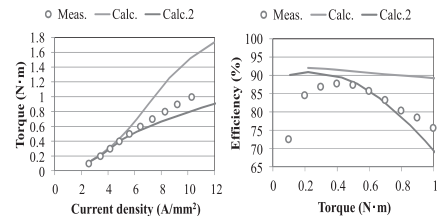


図6 トルク特性と効率特性の再比較

### 4. まとめ

本研究では、新規構造の SR モータである TFSRM について、解析および実験の両面から基礎的な検討を行った。

解析においては、一般的な RFSRM を上回る特性を有することを明らかにした。実験においては、試作機を用いた実証実験を行い、その結果、最高効率 88% が得られた。また、相間干渉やコア背面の固定穴による局所的な磁気飽和によって、トルク特性に悪化することを明らかにした。

今後は相間干渉の低減、およびコアの固定方法に関する検討が必要不可欠である。

### 文献

- 1) J. Jung, S. Ulbrich, W. Hofmann : Design Process of a High Torque Density Direct Drive Involving a Transverse Flux Machine : Proceedings of ICEM 2014, pp. 1096-1102 (2014)